

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

NOTIFICATION D'ELECTION
(règle 61.2 du PCT)

Expéditeur: le BUREAU INTERNATIONAL

Destinataire:

Commissioner
US Department of Commerce
United States Patent and Trademark
Office, PCT
2011 South Clark Place Room
CP2/5C24
Arlington, VA 22202
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

en sa qualité d'office élu

Date d'expédition (jour/mois/année) 05 juillet 2001 (05.07.01)	
Demande internationale no PCT/FR00/02546	Référence du dossier du déposant ou du mandataire B4526PCT
Date du dépôt international (jour/mois/année) 14 septembre 2000 (14.09.00)	Date de priorité (jour/mois/année) 17 septembre 1999 (17.09.99)
Déposant FLEUTE, Markus etc	

1. L'office désigné est avisé de son élection qui a été faite:

dans la demande d'examen préliminaire international présentée à l'administration chargée de l'examen préliminaire international le:

07 avril 2001 (07.04.01)

dans une déclaration visant une élection ultérieure déposée auprès du Bureau international le:

2. L'élection a été faite n'a pas été faite

avant l'expiration d'un délai de 19 mois à compter de la date de priorité ou, lorsque la règle 32 s'applique, dans le délai visé à la règle 32.2b).

Bureau international de l'OMPI 34, chemin des Colombettes 1211 Genève 20, Suisse no de télécopieur: (41-22) 740.14.35	Fonctionnaire autorisé Eric LESOT (Fax 338.87.40) no de téléphone: (41-22) 338.83.38
--	--

THIS PAGE BLANK (USPTO)

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

(article 18 et règles 43 et 44 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire B4526 PCT	POUR SUITE A DONNER voir la notification de transmission du rapport de recherche internationale (formulaire PCT/ISA/220) et, le cas échéant, le point 5 ci-après	
Demande internationale n° PCT/FR 00/ 02546	Date du dépôt international(jour/mois/année) 14/09/2000	(Date de priorité (la plus ancienne) (jour/mois/année) 17/09/1999
Déposant UNIVERSITE JOSEPH FOURIER		

Le présent rapport de recherche internationale, établi par l'administration chargée de la recherche internationale, est transmis au déposant conformément à l'article 18. Une copie en est transmise au Bureau international.

Ce rapport de recherche internationale comprend 3 feilles.

Il est aussi accompagné d'une copie de chaque document relatif à l'état de la technique qui y est cité.

1. **Base du rapport**

a. En ce qui concerne la **langue**, la recherche internationale a été effectuée sur la base de la demande internationale dans la langue dans laquelle elle a été déposée, sauf indication contraire donnée sous le même point.

la recherche internationale a été effectuée sur la base d'une traduction de la demande internationale remise à l'administration.

b. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), la recherche internationale a été effectuée sur la base du listage des séquences :

contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.

déposée avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.

remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.

remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.

La déclaration, selon laquelle le listage des séquences présenté par écrit et fourni ultérieurement ne vas pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.

La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous forme déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences présenté par écrit, a été fournie.

2. Il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (voir le cadre I).

3. Il y a absence d'unité de l'invention (voir le cadre II).

4. En ce qui concerne le **titre**,

le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant.

Le texte a été établi par l'administration et a la teneur suivante:

RECONSTITUTION STATISTIQUE DE SURFACES EN TROIS DIMENSIONS

5. En ce qui concerne l'**abrégé**,

le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant

le texte (reproduit dans le cadre III) a été établi par l'administration conformément à la règle 38.2b). Le déposant peut présenter des observations à l'administration dans un délai d'un mois à compter de la date d'expédition du présent rapport de recherche internationale.

6. La figure **des dessins** à publier avec l'abrégé est la Figure n°

suggérée par le déposant.

parce que le déposant n'a pas suggéré de figure.

parce que cette figure caractérise mieux l'invention.

2

Aucune des figures n'est à publier.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Document de Recherche Internationale No

PCT/FR 00/02546

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 G06T11/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>LAVALLEE S ET AL: "RECOVERING THE POSITION AND ORIENTATION OF FREE-FORM OBJECTS FROM IMAGE CONTOURS USING 3D DISTANCE MAPS" IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, US, IEEE INC. NEW YORK, vol. 17, no. 4, 1 avril 1995 (1995-04-01), pages 378-390, XP000499568 ISSN: 0162-8828 page 378, colonne de gauche, alinéa 1 -page 379, colonne de droite, alinéa 2 figures 2-4 page 385, colonne de gauche, ligne 4 - dernière ligne page 387, colonne de droite, dernier alinéa --- -/-</p>	1, 4-12



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

31 octobre 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

08/11/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Diallo, B

THIS PAGE BLANK (USPTO)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 00/02546

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>FLEUTE, M.; LAVALLÉE, S.: "Building a complete surface model from sparse data using statistical shape models : application to computer assisted knee surgery"</p> <p>MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION - MICCAI '98 PROC.,</p> <p>- 1 octobre 1998 (1998-10-01)</p> <p>XP000913649</p> <p>Cambridge, MA, USA</p> <p>cité dans la demande</p> <p>abrégé; figures 1-4</p> <p>page 880, alinéa 2 -page 885, ligne 4</p> <p>---</p>	1-3, 9, 11
A	<p>GUEZIEC, A., KAZANZIDES, P.; ET AL.: "Anatomy-based registration of CT-scan and intraoperative X-Ray images for guiding a surgical robot"</p> <p>IEEE TRANS. MED. IMAG.,</p> <p>vol. 17, no. 5,</p> <p>1 octobre 1998 (1998-10-01), pages 715-728, XP002140303</p> <p>cité dans la demande</p> <p>abrégé; figures 1,5</p> <p>page 718, colonne de droite, alinéa III</p> <p>-page 720, colonne de droite, alinéa A</p> <p>---</p>	4
A	<p>LAVALLEE S ET AL: "MATCHING OF MEDICAL IMAGES FOR COMPUTED AND ROBOT ASSISTED SURGERY"</p> <p>PROCEEDINGS OF THE ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, US, NEW YORK, IEEE,</p> <p>vol. CONF. 13, 1991, pages 39-40,</p> <p>XP000347734</p> <p>-----</p>	

THIS PAGE BLANK (USPTO)

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

PCT

REC'D 15 JAN 2002
WIPO PCT

RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire B4526 PCT	POUR SUITE A DONNER voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/FR00/02546	Date du dépôt international (jour/mois/année) 14/09/2000	Date de priorité (jour/mois/année) 17/09/1999
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB G06T11/00		
Déposant UNIVERSITE JOSEPH FOURIER et al.		
<p>1. Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.</p> <p>2. Ce RAPPORT comprend 6 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.</p> <p><input type="checkbox"/> Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT).</p> <p>Ces annexes comprennent feuilles.</p>		
<p>3. Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> I <input checked="" type="checkbox"/> Base du rapport II <input type="checkbox"/> Priorité III <input type="checkbox"/> Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle IV <input type="checkbox"/> Absence d'unité de l'invention V <input checked="" type="checkbox"/> Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration VI <input type="checkbox"/> Certains documents cités VII <input checked="" type="checkbox"/> Irrégularités dans la demande internationale VIII <input checked="" type="checkbox"/> Observations relatives à la demande internationale 		

Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale 07/04/2001	Date d'achèvement du présent rapport 11.01.2002
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international: Office européen des brevets D-80298 Munich Tél. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Fonctionnaire autorisé Tibaux, M N° de téléphone +49 89 2399 2656



THIS PAGE BLANK (USPTO)

RAPPORT D'EXAMEN PRÉLIMINAIRE INTERNATIONAL

Demande internationale n° PCT/FR00/02546

I. Base du rapport

1. En ce qui concerne les éléments de la demande internationale (les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées dans le présent rapport comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications (règles 70.16 et 70.17)):

Description, pages:

1-18 version initiale

Revendications, N°:

1-12 version initiale

Dessins, feuilles:

1/3-3/3 version initiale

2. En ce qui concerne la **langue**, tous les éléments indiqués ci-dessus étaient à la disposition de l'administration ou lui ont été remis dans la langue dans laquelle la demande internationale a été déposée, sauf indication contraire donnée sous ce point.

Ces éléments étaient à la disposition de l'administration ou lui ont été remis dans la langue suivante: , qui est :

- la langue d'une traduction remise aux fins de la recherche internationale (selon la règle 23.1(b)).
- la langue de publication de la demande internationale (selon la règle 48.3(b)).
- la langue de la traduction remise aux fins de l'examen préliminaire internationale (selon la règle 55.2 ou 55.3).

3. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acide aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), l'examen préliminaire internationale a été effectué sur la base du listage des séquences :

- contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.
- déposé avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.
- remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- La déclaration, selon laquelle le listage des séquences par écrit et fourni ultérieurement ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.
- La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listages des séquences Présenté par écrit, a été fournie.

4. Les modifications ont entraîné l'annulation :

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**RAPPORT D'EXAMEN
PRÉLIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/FR00/02546

de la description, pages : _____

des revendications, n°s : _____

des dessins, feuilles : _____

5. Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

(Toute feuille de remplacement comportant des modifications de cette nature doit être indiquée au point 1 et annexée au présent rapport)

6. Observations complémentaires, le cas échéant :

V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications 1-12
	Non : Revendications
Activité inventive	Oui : Revendications
	Non : Revendications 1-12
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications 1-12
	Non : Revendications

2. Citations et explications
voir feuille séparée

VII. Irrégularités dans la demande internationale

Les irrégularités suivantes, concernant la forme ou le contenu de la demande internationale, ont été constatées :
voir feuille séparée

VIII. Observations relatives à la demande internationale

Les observations suivantes sont faites au sujet de la clarté des revendications, de la description et des dessins et de la question de savoir si les revendications se fondent entièrement sur la description :
voir feuille séparée

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Concernant le point V

Déclaration motivée selon la règle 66.2(a)(ii) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

- 1). Il est fait référence aux documents suivants:

D1: LAVALLÉE S ET AL: 'RECOVERING THE POSITION AND ORIENTATION OF FREE-FORM OBJECTS FROM IMAGE CONTOURS USING 3D DISTANCE MAPS' IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, US, IEEE INC. NEW YORK, vol. 17, no. 4, 1 avril 1995 (1995-04-01), pages 378-390, XP000499568 ISSN: 0162-8828

D2: FLEUTE, M.; LAVALLÉE, S.: 'Building a complete surface model from sparse data using statistical shape models : application to computer assisted knee surgery' MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION - MICCAI'98 PROC., - 1 octobre 1998 (1998-10-01) XP000913649 Cambridge, MA, USA cité dans la demande

- 2). L'objet de la revendication 1 n'implique pas d'activité inventive (article 33(3) PCT).
- 3). D1 divulgue toutes les étapes du procédé de la revendication 1, à l'exception de la dernière. En effet le référentiel de référence est décrit à la figure 1 de D1 page 378, colonne de droite, lignes 1-21, et les étapes de procédé revendiquées correspondent aux étapes du procédé de D1, voir page 385, colonne de gauche, lignes 5-35.
- 4). D2 (page 881, ligne 3 - page 884, ligne 2) divulgue la sélection ("only the important deformations are extracted") d'une déformation d'un modèle (figure 3) pour modifier ses contours en trois dimensions. D2 se base sur les modèles déformables (Point distribution Models) définis par Cootes et Taylor (page 881, ligne 1) et en particulier sur les séries de déformations extraites comme spécifié à la page 881, lignes 3-17.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

- 5). Par conséquent la personne du métier ajoutera aux étapes du procédé de D1, sans exercer aucune activité inventive, l'étape de sélectionner une déformation du modèle pour modifier ses contours en trois dimensions, divulguée dans D2, car d'une part D1 suggère, en se référant à l'analyse de distribution d'erreur (page 385, colonne de gauche, étape 7 lignes 33-35) le recours à un modèle statistique (voir aussi D1 page 387, colonne de droite, dernier paragraphe, "compute a matching score by looking at the residual error function") et d'autre part les modèles statistiques de D2 s'inscrivent dans un contexte de déformation du modèle en trois dimensions, ladite déformation aboutissant nécessairement à un résultat de modification des contours.
- 6). Les revendications dépendantes n'ajoutent rien d'inventif car elles ont pour objet, soit des détails de réalisation des étapes divulguées dans D1, eux-mêmes conformes aux enseignements de D1, soit des caractéristiques du modèle statistique, connues en soi (cf description de la demande, page 10, ligne 33 - page 11 ligne 27).

Concernant le point VII

Irrégularités dans la demande internationale

- 7). Contrairement à ce qu'exige la règle 5.1 a) ii) PCT, la description n'indique pas l'état de la technique antérieure pertinent exposé dans le document D1 et ne cite pas ce document.

Concernant le point VIII

Observations relatives à la demande internationale

- 8). La dernière étape de la revendication 1 est formulée de façon vague : "sélectionner une déformation du modèle pour modifier ses contours en trois dimensions", et ne définit pas d'où provient la déformation à sélectionner (il semble nécessaire de se référer à la notion de correspondance statistique) et sur base de quel critère se fera la sélection. Ces notions doivent être définies dans la

THIS PAGE BLANK (USPTO)

revendication indépendante indépendamment du fait (accepté) que "La réalisation du modèle statistique déformable en lui-même ne fait pas l'objet de la présente invention et est parfaitement classique" (page 10, ligne 34 - page 11, ligne 1). Il n'est pas non plus défini en quoi consiste la modification des contours, ni comment elle résulte de la sélection d'une déformation. L'objet de ladite revendication n'est donc pas clairement défini (article 6 PCT).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Translation



PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

10/088772

Applicant's or agent's file reference B4526PCT	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/FR00/02546	International filing date (day/month/year) 14 September 2000 (14.09.00)	Priority date (day/month/year) 17 September 1999 (17.09.99)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G06T 11/00		
Applicant UNIVERSITE JOSEPH FOURIER		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 6 sheets, including this cover sheet.

This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of _____ sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I Basis of the report
- II Priority
- III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV Lack of unity of invention
- V Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI Certain documents cited
- VII Certain defects in the international application
- VIII Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 07 April 2001 (07.04.01)	Date of completion of this report 11 January 2002 (11.01.2002)
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/FR00/02546

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments*):

the international application as originally filed.

the description, pages 1-18, as originally filed,
pages _____, filed with the demand,
pages _____, filed with the letter of _____,
pages _____, filed with the letter of _____.

the claims, Nos. 1-12, as originally filed,
Nos. _____, as amended under Article 19,
Nos. _____, filed with the demand,
Nos. _____, filed with the letter of _____,
Nos. _____, filed with the letter of _____.

the drawings, sheets/fig 1/3-3/3, as originally filed,
sheets/fig _____, filed with the demand,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

the description, pages _____

the claims, Nos. _____

the drawings, sheets/fig _____

3. This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

THIS PAGE BLANK (USPTO)

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-12	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims		YES
	Claims	1-12	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-12	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

1). The following documents are referred to:

D1: LAVALLEE S. ET AL.: "RECOVERING THE POSITION AND ORIENTATION OF FREE-FORM OBJECTS FROM IMAGE CONTOURS USING 3D DISTANCE MAPS", IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, US, IEEE INC., NEW YORK, Vol. 17, N° 4, 1 April 1995 (1995-04-01), pages 378-390, XP000499568, ISSN: 0162-8828

D2: FLEUTE M.; LAVALLEE S.: "Building a complete surface model from sparse data using shape models: application to computer assisted knee surgery", MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION - MICCAI'98 PROC., - 1 October 1998 (1998-10-01), XP000913649, Cambridge, MA, USA, cited in the application.

2). The subject matter of Claim 1 involves no inventive step (PCT Article 33(3)).

3). D1 discloses all the steps of the method defined in Claim 1, except for the last step. Indeed, the reference universal set is described D1 (Figure 1; page

THIS PAGE BLANK (USPTO)

378, right-hand column, lines 1-21), and the claimed method steps correspond to the method steps of D1 (see page 385, left-hand column, lines 5-35).

- 4). D2 (page 881, line 3, to page 884, line 2) discloses the selection ("only the important deformations are extracted") of a deformation of a model (Figure 3) to modify its contours in three dimensions. D2 is based on the deformable models (Point distribution Models) defined by Cootes and Taylor (page 881, line 1), and in particular on the series of deformations extracted as specified on page 881, lines 3-17.
- 5). Consequently, without exercising inventive skill, a person skilled in the art would add to the method steps of D1 the step, disclosed in D2, of selecting a deformation of the model in order to modify its contours in three dimensions, firstly because D1, referring to the analysis of error distribution (page 385, left-hand column, step 7, lines 33-35), suggests the use of a statistical model (see also D1, page 387, right-hand column, last paragraph, "compute a matching score by looking at the residual error function"), and secondly because the statistical models of D2 are used in the context of deforming the model in three dimensions, and this deformation necessarily results in a modification of the contours.
- 6). The dependent claims add no inventive element, since their subject matter concerns either details of the implementation of the steps disclosed in D1, and these details themselves correspond to the teaching of D1, or features of the statistical model which are known *per se* (see description of the present application, page 10, line 33, to page 11, line 27).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

VII. Certain defects in the international application

The following defects in the form or contents of the international application have been noted:

7). Contrary to the requirements of PCT Rule 5.1(a)(ii), neither D1 nor the relevant prior art disclosed in that document is mentioned in the description.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

VIII Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

8). The final step of Claim 1 is worded in vague terms: "select a deformation of the model in order to modify its contours in three dimensions", and it does not define the origin of the deformation to be selected (it appears to be necessary to refer to the statistical equivalent notion) or indeed the criterion on which the selection is to be based. These notions must be defined in the independent claim, irrespective of the (accepted) fact that "The creation of the deformable statistical model *per se* does not belong to the subject matter of the present invention and is entirely conventional" (page 10, line 34, to page 11, line 1). Furthermore, there is no definition of what the contour modification entails, nor of how such modification results from the selection of a deformation. Consequently, the subject matter of this claim is not clearly defined (PCT Article 6).

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**Publiée:**

— *Avec rapport de recherche internationale.*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé: L'invention concerne un procédé et un système de reconstitution d'une image en trois dimensions représentant les contours surfaciques d'au moins un objet (1), à partie d'au moins une vue en deux dimensions de cet objet prise aux rayons X, dans lesquels on détermine la position de la source (7) de prise de vues dans un référentiel de référence, on sélectionne un modèle prédéfini constituant une forme moyenne de l'objet et, de façon itérative jusqu'à ce que les contours du modèle soient tels que les écarts entre des rayons de rétroprojection des contours de l'image en deux dimensions depuis la source et la surface du modèle soient minimaux, on sélectionne une orientation et une position du modèle dans le référentiel de référence, puis on sélectionne une déformation du modèle pour modifier ses contours en trois dimensions.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

RECONSTITUTION STATISTIQUE DE SURFACES EN TROIS DIMENSIONS

La présente invention concerne la reconstitution d'images en trois dimensions et, plus particulièrement, la reconstitution des contours surfaciques d'une image à partir de vues, même incomplètes, en deux dimensions.

5 Un exemple d'application de la présente invention est la reconstitution d'images représentant des éléments osseux à partir d'images en deux dimensions prises, par exemple, aux rayons X. De telles images peuvent servir, par exemple, à simuler une intervention chirurgicale en permettant au praticien de pré-10 visualiser les positions respectives des os au niveau d'une articulation, par exemple, en cas de plastie ligamentaire ou de mise en place de prothèse.

Aujourd'hui, pour permettre au praticien de visualiser une image en trois dimensions à partir d'images en deux dimensions, on est contraint d'utiliser un scanner à rayons X effectuant des tomographies. A partir de ces tomographies, on sait 15 reconstituer une image en trois dimensions. Soit il s'agit d'une technologie dite de tomographies en trois dimensions dans laquelle un grand nombre de vues (de l'ordre de 200) sont prises 20 au moyen d'un scanner à rayons X selon différentes positions, et les contours de l'os sont alors reconstitués par traitement

d'image à partir de ces vues au scanner. Soit il s'agit d'une technologie dite de tomographies en deux dimensions dans laquelle un grand nombre de coupes sont prises au moyen d'un scanner à rayons X transversalement à l'os. On peut alors reconstituer 5 l'allure et la structure de l'os.

La technique du scanner donne de bons résultats mais est d'une mise en œuvre lourde et coûteuse. En effet, l'utilisation d'un scanner permet d'obtenir un ensemble d'images en deux dimensions fournissant non seulement des informations sur le 10 contour mais également sur l'intérieur de l'os. Or, dans de nombreuses applications, seule la connaissance du contour surfacique de l'os ou de l'objet est nécessaire.

Un autre exemple d'application de la présente invention est la reconstitution d'ossements incomplets, par exemple, en 15 archéologie. Une reconstitution d'images en trois dimensions peut permettre de retrouver de façon quasi-parfaite la forme originelle de l'os même si celui-ci est découvert de façon incomplète. Dans une telle application, des problèmes similaires à ceux exposés ci-dessus en relation avec la simulation d'interventions chirurgicales se posent. En particulier, il est souvent utile de 20 connaître la forme de l'os sans avoir à se préoccuper de sa structure interne.

Un autre inconvénient des techniques connues est qu'elles imposent une dose de radiations importante pour le 25 patient ce qui n'est pas souhaitable. Si cet inconvénient est moins sensible dans le domaine de l'archéologie où c'est le coût qui prédomine, il est particulièrement gênant dans la simulation d'interventions chirurgicales.

La présente invention s'applique plus particulièrement 30 à la reconstitution d'images se rapportant à des objets identifiés, c'est-à-dire, dont on connaît à l'avance la forme générale. Par exemple, pour un os, il faut au préalable décider de quel os il s'agit.

La présente invention vise à proposer un nouveau procédé 35 de reconstitution d'images en trois dimensions qui pallie

les inconvénients des techniques connues. L'invention vise, en particulier, à proposer une solution qui ne nécessite pas l'emploi coûteux d'un scanner à rayons X.

La présente invention vise également à proposer une solution qui soit compatible avec une exposition minimale aux rayons X ou équivalents.

L'invention vise en outre à minimiser le nombre de vues en deux dimensions nécessaires pour reconstituer l'image en trois dimensions.

Pour atteindre ces objets, la présente invention prévoit un procédé de reconstitution d'une image en trois dimensions représentant les contours surfaciques d'au moins un objet, à partir d'au moins une vue en deux dimensions de cet objet prise aux rayons X, caractérisé en ce qu'il consiste à :

déterminer la position de la source de prise de vues dans un référentiel de référence ;

sélectionner un modèle prédéfini constituant une forme moyenne de l'objet ; et

de façon itérative jusqu'à ce que les contours du modèle soient tels que les écarts, entre des rayons de rétropénétration des contours de l'image en deux dimensions depuis la source et la surface du modèle, soient minimaux :

sélectionner une orientation et une position du modèle dans le référentiel de référence, puis

sélectionner une déformation du modèle pour modifier ses contours en trois dimensions.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le modèle est obtenu à partir d'une population d'objets pour laquelle on recherche la correspondance statistique commune à tous les objets pour déterminer une forme moyenne et les déformations principales par rapport à cette forme moyenne, de façon à disposer d'au moins un modèle statistique.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, les étapes de sélection itératives consistent à faire subir au modèle statistique, successivement, une transformation rigide

modifiant sa position et/ou son orientation et une déformation non-rigide modifiant ses contours surfaciques.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, les contours de l'image en deux dimensions sont obtenus automatiquement en projetant le modèle dans le plan de l'image en deux dimensions, et en déformant les contours projetés de façon à les faire coincider avec les points de fort gradient en niveaux de gris de l'image en deux dimensions.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la détermination automatique des contours de l'image en deux dimensions est effectuée de façon itérative, chaque itération étant intercalée entre deux itérations successives des étapes de sélection.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, on détermine, dans le référentiel de référence, des coordonnées en trois dimensions de points de l'objet, de façon à disposer de points de référence supplémentaires pour les étapes de sélection itératives de position, orientation, et déformation.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, on utilise plusieurs images en deux dimensions pour lesquelles les positions respectives de la source de prise de vues sont toutes déterminées dans le référentiel de référence, et on effectue les étapes de sélections itératives en tenant compte des rayons de rétroposition des contours de toutes les images en deux dimensions.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le nombre d'images utilisé est fonction de la précision souhaitée.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la surface du modèle est constituée d'éléments de triangle, lesdits écarts étant mesurés par rapport à des points de certaines arêtes constituant des générateurs du contour en trois dimensions.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le procédé est appliqué à la reconstitution des contours surfaci-

ques de plusieurs objets liés entre eux par des relations de transformation rigide et/ou élastique.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le procédé est appliqué à la reconstitution d'images d'os.

5 L'invention concerne également un système de traitement d'images, comportant des moyens pour la mise en œuvre du procédé de reconstitution d'images en trois dimensions.

10 Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes 15 parmi lesquelles :

la figure 1 représente un mode de réalisation d'un système de reconstitution d'images en trois dimensions à partir d'un dispositif de prise de vues en deux dimensions selon la présente invention ;

20 la figure 2A illustre la prise d'une vue en deux dimensions pour la mise en œuvre du procédé de reconstitution d'images en trois dimensions selon la présente invention ;

la figure 2B illustre la prise de trois vues en deux dimensions pour la mise en œuvre du procédé de reconstitution selon la présente invention ;

25 les figures 3A, 3B et 3C illustrent trois étapes caractéristiques du procédé selon un mode de réalisation de la présente invention ;

la figure 4 illustre un mode de détermination de générateurs de contour selon la présente invention ; et

30 la figure 5 illustre un mode de détermination préféré selon l'invention de l'écart entre un modèle en trois dimensions et une vue en deux dimensions.

35 Les mêmes éléments ont été désignés par les mêmes références aux différentes figures qui ne sont pas à l'échelle. Pour des raisons de clarté, seuls les éléments qui sont nécessaires à la compréhension de l'invention ont été représentés aux figures et seront décrits par la suite. En particulier, les moyens de

traitement d'images comprenant les calculateurs informatiques n'ont pas été représentés et ne seront pas décrits de façon détaillée, car leur réalisation est à la portée de l'homme du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-après.

5 Une caractéristique de la présente invention est de rechercher la position et l'orientation d'un objet à reconstituer, et dont on connaît au moins une vue en deux dimensions, à partir d'une base de données contenant des modèles de cet objet. Quand plusieurs vues en deux dimensions sont utilisées, ces vues 10 sont toutes référencées dans un même référentiel. Ainsi, l'invention concerne la reconstitution d'une image représentant un objet déjà identifié et dont on peut disposer de modèles de taille et/ou de forme différentes.

15 Une caractéristique d'un mode de réalisation préféré de la présente invention est d'utiliser au moins un modèle statistique déformable, établi à partir de la base de données, pour reconstituer la forme en trois dimensions de l'objet. Ainsi, l'invention prévoit de définir, avant toute reconstitution, une 20 base de données contenant des modèles en trois dimensions de l'objet à reconstituer ou, de préférence, un ou plusieurs modèles statistiques déformables à partir de cette base de données.

La figure 1 représente une vue schématique d'un système de reconstitution d'images en trois dimensions selon un mode de 25 réalisation de la présente invention. L'exemple de la figure 1 concerne la reconstitution de l'image d'un os 1 à partir de radiographies en deux dimensions. En figure 1, on a représenté schématiquement et partiellement le corps d'un patient p dont la jambe contient l'os 1 que l'on souhaite visualiser. La jambe du patient p (donc l'os 1) est, par exemple, posé sur une table 2. 30 Une potence 3 porte un dispositif 4 de localisation en trois dimensions qui peut être optique, magnétique, mécanique ou ultrasonore et qui repère la position et l'orientation de multiples capteurs-émetteurs constitués, par exemple, de diodes infrarouges, de réflecteurs, d'émetteurs magnétiques, à ultrasons, 35 etc. Un tel localisateur est parfaitement connu et ne sera pas

détailé plus avant. On notera simplement que, pour garantir une localisation correcte du patient (de l'os 1), celui-ci est généralement également équipé d'un capteur-émetteur 18 détectable par le localisateur 4. En effet, selon l'invention, toutes les vues 5 doivent pouvoir être exploitées dans un même référentiel (de référence), qui est associé à l'objet que l'on reconstitue.

Plusieurs capteurs-émetteurs peuvent être fixés sur le système de radiologie, proche de la source 7 (capteur-émetteur 19) ou proche d'un détecteur d'image 9 (capteur-émetteur 5), de 10 façon à repérer la position du système de radiologie par rapport au référentiel de référence du capteur-émetteur 18.

Dans certains cas, les capteurs-émetteurs 5 et 19 sont difficilement repérables en raison de leur éloignement ou de la présence d'objets parasites dans le champ de mesure du localisateur 4. Dans ce cas, un capteur-émetteur 20 peut être installé 15 sur la table 2 dans le champ de mesure du localisateur 4. On positionne alors le système radiologique dans de bonnes conditions de mesure et on repère les positions des capteur-émetteurs 5 et 19 par rapport au capteur-émetteur 20 une fois pour toutes 20 (on ne renouvelle cette étape que si on bouge le système de radiologie dans son ensemble).

Le système radiologique étant équipé de codeurs angulaires sur ses axes, comme cela sera détaillé plus loin, les changements de position relative du système radiologique sont 25 mesurés à l'aide de ces codeurs et peuvent ainsi être reportés dans le référentiel du capteur-émetteur 20. Pour chaque prise de vue, on mesure la relation géométrique entre les capteurs-émetteurs 20 et 18 et, par ce biais, on reporte la position du système radiologique dans le référentiel de référence du capteur-émetteur 18. Ainsi, toutes les radiographies sont calibrées dans 30 le référentiel du capteur-émetteur 18 qui peut être mobile.

Le dispositif 6 est, par exemple, constitué d'une source 7 à rayons X portée par une première extrémité d'un bras 8 en demi-cercle dont l'autre extrémité est destinée à recevoir le 35 film 9 d'impression de la radiographie, ou un capteur électroni-

que équivalent tel qu'un amplificateur de brillance, ou un détecteur plat au silicium amorphe. La relation entre le bras 8 et la table 2 est telle que cette dernière se trouve entre la source 7 et le capteur 9. Le bras 8 est monté à rotation autour d'un axe 10, motorisé ou à déplacement manuel, et porté par une potence 11. L'ensemble de prise de vues en deux dimensions peut ainsi tourner autour de l'os 1 pour effectuer le nombre désiré de radiographies de celui-ci. Le cas échéant, le localisateur optique 4 peut être associé à un dispositif de codage angulaire de la position de l'axe 10.

L'ensemble est piloté par un système informatique, par exemple, un ordinateur 12 associé, de préférence, à un écran de visualisation 13. A la figure 1, on a symbolisé par des liaisons unifilaires 14, 15, 16 et 17, les bus informatiques d'échange de signaux électriques de commande et de données entre l'ordinateur 12 et, respectivement, le localisateur 4, la source 7, le moteur ou le codeur optionnel de l'axe 10 et le capteur 9.

Les figures 2A et 2B illustrent deux modes de prises de vues selon deux modes de réalisation de la présente invention. Aux figures 2A et 2B, les vues en deux dimensions ont été représentées par les plans respectifs dans lesquelles elles sont prises, c'est-à-dire par l'allure de la surface du capteur 9 (figure 1) lors des prises. Cela correspond aux images radiographiques en deux dimensions récupérées par le système informatique.

La figure 2A représente le cas d'une seule prise de vue dans un plan P1, fournissant une image I1 de l'os 1. La position de la source 7 a été symbolisée par un point où convergent des rayons r de rétroposition des quatre coins du plan P1.

La figure 2B représente le cas d'une triple prise de vues dans des plans P1, P2 et P3, fournissant trois images I1, I2 et I3 en deux dimensions de l'os 1. En figure 2B, la position de la source n'est pas constante, celle-ci est différente pour chaque prise de vue. Toutefois, grâce au localisateur 4, toutes les positions de la source sont connues dans le référentiel de réfé-

rence. Par soucis de clarté, seuls les rayons r_1 des quatre coins du plan P_1 dans la position de l'image I_1 ont été représentés.

On notera que la source de prises de vues peut subir, entre deux images en deux dimensions, d'autres mouvements que dans un même plan comme illustré par les figures 1 et 2B. En d'autres termes, le bras 8 du système de prises de vues 6 peut présenter plus de deux degrés de liberté, dont chacun pourra être muni d'un dispositif de codage angulaire. Selon un mode de réalisation préféré, le bras 8 est monté sur deux axes de rotations horizontal et vertical et un axe de translation vertical.

On notera également que les images en deux dimensions peuvent n'être que partielles. Par exemple, dans l'application aux radiographies, celles-ci peuvent être interprétées par l'opérateur pour valider les contours des vues en deux dimensions à prendre en compte pour la reconstitution. Une telle interprétation n'est pas gênante en raison du faible nombre de vues en deux dimensions nécessaire selon l'invention (moins de dix en général). La validation des contours dans le système informatique peut être effectuée, par exemple, au moyen d'une souris, d'un crayon optique, d'un écran tactile, ou équivalent, de façon classique pour un enregistrement de contour sur une image en niveaux de gris.

Selon un autre mode de réalisation préféré, la détermination des contours sur les images radiographiques est automatisée en mettant en œuvre un procédé dit de recalage en deux dimensions. Un tel procédé consiste à déterminer le contour de façon automatique par analyse des gradients les plus forts en niveaux de gris. Ce procédé est décrit, par exemple, dans la thèse de Gelu Ionescu, présentée publiquement le 4 décembre 1998 à l'Université Joseph Fourier de Grenoble (France), et ayant pour titre "Segmentation et recalage d'images échographiques par utilisation de connaissances physiologiques et morphologiques". Selon l'invention, on met en œuvre ce procédé de recalage en deux dimensions en combinaison avec une projection, sur l'image en deux dimensions, du modèle statistique déformable de l'objet

dont on souhaite reconstituer les contours surfaciques en trois dimensions. On effectue une analyse itérative d'un contour projeté du modèle sur l'image en deux dimensions jusqu'à obtenir, après plusieurs passes (par exemple de 3 à 10), une identité 5 entre le contour du modèle projeté qui sera décrit ci-après et dont l'orientation et la déformation auront été adaptés par le procédé de l'invention, et le contour déterminé par analyse des gradients les plus forts en niveaux de gris. Cette combinaison sera mieux comprise par la suite en relation avec la figure 5.

10 Pour simplifier la présente description, on considérera ci-après que les contours des vues en deux dimensions sont connus. En pratique, les étapes du procédé de l'invention seront effectuées en boucle, y compris le recalage en deux dimensions, jusqu'à obtenir un résultat satisfaisant.

15 Selon l'invention, une fois que la ou les vues en deux dimensions ont été obtenues, il reste à déterminer, par recherche de correspondance dans la base de données, la forme et la taille de l'objet (ici, l'os) en trois dimensions.

20 Pour ce faire, l'invention prévoit de rechercher le modèle pour lesquelles les distances séparant les contours de chaque vue en deux dimensions et la surface du modèle sont minimales.

25 Dans le mode de réalisation préféré où on utilise un modèle statistique déformable (définissant ainsi une famille de modèles) de l'objet à reconstituer, on recherche à s'approcher le plus possible, par déformation itérative de ce modèle, de la forme dont les contours sont tels que, comme on le verra par la suite en relation avec la figure 5, les rayons de rétroposition 30 s'appuyant sur les points des contours de l'image (ou des images) en deux dimensions depuis la source (ou depuis leurs sources respectives) sont tous tangentiels à la surface du modèle, étant entendu que les différents contours en deux dimensions sont repérables dans le référentiel de référence.

35 La réalisation du modèle statistique déformable en lui-même ne fait pas l'objet de la présente invention et est parfai-

tement classique. On se bornera à rappeler que la réalisation d'un tel modèle fait généralement appel à une recherche d'une forme moyenne d'une population d'objets de même type (par exemple, des fémurs) constituant la base de données, suivie d'une analyse en composantes principales pour déterminer les déformations principales (essentielles) à appliquer à cette forme moyenne et obtenir ainsi le modèle statistique.

Une méthode de détermination d'un modèle statistique à partir d'une famille d'échantillons est décrite, par exemple, 10 dans l'article "Building a Complete Surface Model from Sparse Data Using Statistical Shape Models: Application to Computer Assisted Knee Surgery" de Markus Fleute et Stéphane Lavallée, paru dans MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION - MICCAI'98, Springer-Verlag LNCS Series, pages 880- 15 887, en Octobre 1998, et dont le contenu est incorporé ici par référence. On notera que la précision de la reconstruction des contours surfaciques opérée par l'invention dépend des échantillons utilisés pour construire la base de données du modèle statistique. Par exemple, si un modèle statistique de fémur est créé 20 à partir d'une population d'échantillons ayant des formes normales (sans pathologie), on pourra reconstituer avec précision des formes normales mais la précision sera limitée si le fémur radiographié à une forme pathologique. Par contre, si le modèle statistique est créé à partir d'une grande population d'échantillons 25 contenant à la fois des formes normales et des formes pathologiques, on pourra reconstituer, avec précision, des objets normaux et pathologiques.

Selon l'invention, une fois que l'on dispose des images en deux dimensions, on recherche le cas échéant à quel modèle 30 contenu dans la base de données ces images se rapprochent le plus (par exemple, si plusieurs types d'os ou si plusieurs modèles statistiques d'un même os sont disponibles), puis on applique des transformations à ce modèle pour s'approcher le plus possible 35 d'une image en trois dimensions, telle que les rayons de rétro-projection des images jusqu'à leurs sources respectives sont tan-

gentiel aux surfaces de l'image en trois dimensions, placée sur le trajet de ces rayons et dont ils sont respectivement les plus proches.

De préférence, on commence par faire subir au modèle initial au repos, c'est-à-dire correspondant à la forme moyenne, une transformation dite rigide, c'est-à-dire, ne touchant qu'à son orientation et sa translation dans l'espace. Puis, quand on a obtenu la position pour laquelle les rayons de rétroprojection sont tous à une distance minimale des contours du modèle initial, on fait subir une déformation non-rigide au modèle, c'est-à-dire que sans modifier son orientation, on modifie sa forme à partir des données contenues dans la base statistique en modifiant les coefficients des modes principaux du modèle, jusqu'à obtenir la forme dont les contours se rapprochent le plus des rayons de rétroprojection. Le cas échéant, le modèle est prépositionné de façon très approximative par l'opérateur par rapport aux vues en deux dimensions affichées à l'écran. On notera que les moyens (informatiques) de traitement d'images utilisés sont classiques dans leur structure et n'ont donc pas besoin d'être détaillés.

Les figures 3A à 3C illustrent ces deux étapes du procédé de l'invention. La figure 3A représente une vue en trois dimensions d'un modèle 21 avant toute déformation. Il s'agit, par exemple, d'un modèle statistique de l'invention positionné par le praticien dans une orientation approximative. La figure 3B représente le modèle 21' de la figure 3A à l'issue de l'étape d'orientation sans modification de forme. La figure 3C représente l'image 22 en trois dimensions résultant de la mise en œuvre de l'invention, c'est-à-dire correspondant au modèle 21', déformé pour que les rayons de rétroprojection soient (idéalement) tangents à tous ses contours.

Par souci de simplification, un seul groupe de rayons r de rétroprojection depuis une source γ ont été représentés aux figures 3A à 3C et l'écran de projection de l'image correspondante n'a pas été représenté. Comme il ressort des figures 3A à 3C, un grand nombre de rayons r de la figure 3A ne sont pas tan-

gents aux contours du modèle 21. Le nombre de rayons de rétroposition utilisés dépend de la précision souhaitée et des caractéristiques du modèle statistique, essentiellement, du nombre de points surfaciques choisis pour servir de référence lors de la 5 définition de ce modèle statistique.

De la figure 3A à la figure 3B, la transformation est "rigide", c'est-à-dire que le modèle n'est pas déformé. Lors de cette transformation, le modèle 21 subit des translations et rotations afin d'obtenir des mesures d'écart minimum entre 10 chaque rayon de rétroposition partant des points de contour de l'image et la surface de l'objet dans sa position courante. On utilise pour cela des méthodes mathématiques de recherche du minimum de la somme des carrés de ces écarts par rapport aux six paramètres (trois degrés de liberté en rotation et trois degrés 15 de liberté en translation) définissant la transformation rigide recherchée. On obtient une configuration telle qu'illustrée par la figure 3B dans laquelle le modèle 21' a une position et orientation correcte mais une forme encore imparfaite. C'est pourquoi certains rayons r' ne sont pas tangents mais traversent 20 le modèle.

De préférence, la position résultant de la transformation rigide (rotation, translation) est obtenue par une méthode (algorithme) dite du point le plus proche (Iterative Closest Point, ICP). Un exemple d'une telle méthode est décrit dans l'article "A Method for Registration of 3-D Shapes" de Paul J. Besl et Neil D. McKay, paru dans IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 14, NO. 2, en février 1992, et dont le contenu est incorporé ici par référence.

De la figure 3B à la figure 3C, la transformation est 30 "non-rigide" (élastique) et consiste à déformer le modèle 21' sans changer son orientation jusqu'à obtenir l'image 22 en trois dimensions pour laquelle tous les rayons de rétroposition r'' sont à une distance minimale des contours (idéalement tangents). Cette transformation non-rigide est effectuée, par exemple et 35 selon un premier mode de réalisation, en calculant les paramètres

de déformation à partir d'un algorithme connu sous la dénomination anglo-saxonne "Down Hill Simplex". Cet algorithme a été décrit, par exemple, en 1965 par J.A. Nelder et R. Mead dans COMPUTER JOURNAL, vol. 7, pages 308-313, dont le contenu est 5 incorporé ici par référence.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, l'algorithme utilisé pour déterminer la transformation non-rigide du modèle statistique est basé sur la méthode de Levenberg-Marquardt. Le principe de cette méthode est de déterminer le 10 minimum d'une fonction non-linéaire multidimensionnelle en utilisant les dérivées partielles de la fonction par rapport aux paramètres de déformation du modèle. Cette méthode a été décrite, par exemple, en 1963 par D.W. Marquardt dans JOURNAL OF THE SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS, vol. 11, pages 431-441, 15 dont le contenu est incorporé ici par référence. La fonction dont on cherche le minimum est ici la somme des carrés des distances entre un ensemble de rayons de rétroposition s'appuyant sur les points de contours et la surface du modèle. Les paramètres de la recherche du minimum sont les coefficients que l'on applique à 20 chaque mode de déformation du modèle statistique, ainsi que cela est présenté dans l'article "Building a Complete Surface Model from Sparse Data Using Statistical Shape Models: Application to Computer Assisted Knee Surgery" de Markus Fleute et Stéphane Lavallée, déjà cité.

25 Cette méthode est appliquée et répétée à chaque position approchée jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de minimiser les écarts. On enchaîne ainsi un recalage rigide, un recalage élastique, un recalage rigide, un recalage élastique, etc. Une fois la forme en trois dimensions reconstituée, sa 30 taille est bien entendu également connue dans la mesure où toutes les vues en deux dimensions ont des tailles connues, de même que la position, dans le référentiel de référence, du modèle par rapport aux sources. Le nombre de passes nécessaire dépend essentiellement du nombre de paramètres caractéristiques utilisés pour 35 modéliser la déformation.

On notera que l'ordre dans lequel sont effectuées les deux étapes ci-dessus est important. En effet, si on commence par effectuer une déformation non-rigide, on va faire correspondre un modèle avec une mauvaise orientation qu'il sera très difficile à 5 récupérer en raison de la déformation de forme subie. Toutefois, la minimisation des écarts peut être effectuée globalement en prenant en compte les paramètres rigides et les paramètres de déformations en même temps à chaque itération du processus mathématique de minimisation.

10 On notera que, à chaque étape itérative du procédé dans laquelle on calcule les écarts entre les contours du modèle et les rayons de rétroprojection, de nouveaux points entrant dans la mesure sont déterminés côté modèle et/ou côté rayons de projection. Ceci constitue une distinction importante par rapport à des 15 procédés connus de reconstitution d'images en trois dimensions dans lesquels les points de mesure sont les mêmes pour toutes les itérations.

Une autre caractéristique de la présente invention est que les évaluations des écarts minimaux ne sont pas nécessairement faites de façon exhaustive pour tous les éléments de surface 20 du modèle. En effet, cela conduirait parfois à des calculs trop dispendieux même si le nombre d'éléments de surface peut être minimisé en utilisant des éléments triangulaires. Selon l'invention, les évaluations d'écarts sont faites par rapport à des 25 lignes caractéristiques constituant des générateurs de contours du modèle. Cela minimise le nombre de points de mesure. Par exemple, un os de type fémur, défini par environ 5000 bords de surfaces triangulaires, est défini par environ 300 générateurs de contours.

30 De préférence, l'analyse effectuée par le procédé de l'invention ne touche que des générateurs de contour de l'image en trois dimensions. Ainsi, la surface du modèle statistique est, de préférence, formée d'éléments triangulaires dont certaines arêtes définissent des générateurs du contour. Un générateur de 35 contour est défini par les arêtes (bords) des triangles qui, pro-

jetés sur un plan, définissent le contour (interne ou externe). Le recours aux générateurs de contours permet de réduire considérablement (par exemple, d'au moins un facteur 10) le nombre de points à chercher dans le modèle pour vérifier la correspondance 5 avec l'image reconstituée.

La figure 4 illustre la définition d'un générateur de contour d'une image (modèle) en trois dimensions dont la surface est formée d'éléments de surface triangulaires tels que décrits, par exemple, dans l'article "Anatomy-based registration of ct-10 scan and intraoperative x-ray images for guiding a surgical robot" de A. Gueziec, paru dans IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, 17(5), pages 715-728, en octobre 1998, et dont le contenu est incorporé ici par référence.

La figure 4 représente, de façon simplifiée, deux 15 triangles 30 et 31 définissant une portion de surface d'un modèle en trois dimensions et dont l'arête commune constitue une génératrice 32 du contour. Le calcul à effectuer pour déterminer si une arête constitue ou non une génératrice du contour consiste à calculer les angles α et β respectifs entre les normales aux surfaces des triangles 30 et 31 et les rayons 33 et 34 reliant le centre de ces surfaces au centre 35 de projection correspondant à la position de la source de rayons X. Si l'un des angles est inférieur à 90° tandis que l'autre est supérieur à 90° , leur arête commune 32 est alors une génératrice du contour.

25 La figure 5 illustre le type de mesure effectuée pour déterminer l'écart e entre un rayon r de rétroposition et un point d'un générateur de contour. Cette figure représente, de façon schématique, une image I de l'objet dans un plan P et une forme 21 du modèle statistique placée sur le trajet des rayons de 30 rétroposition de l'image I jusqu'à la source (non représentée).

Pour chaque rayon de rétroposition r , on cherche les points respectifs 41 et 40 du rayon de rétroposition et d'un générateur de contour choisi parmi tous les générateurs, pour lequel l'écart e entre ces points est minimal.

Un avantage de la présente invention est qu'elle permet une reconstitution beaucoup plus rapide d'une image en trois dimensions par rapport aux techniques connues.

5 Un autre avantage de la présente invention est qu'elle permet un alignement correct du modèle même dans des zones où on ne dispose pas de données de projection par les images en deux dimensions (par exemple, certaines courbures internes).

10 On notera que le contour de surface pourra, le cas échéant, être affiné au moyen d'un palpeur mécanique, optique ou magnétique fournissant des coordonnées spatiales dans le même référentiel que les images en deux dimensions. On obtient alors des points supplémentaires qui peuvent être utilisés dans la recherche de l'image en trois dimensions. Le recours à un palpeur peut servir, par exemple, à diminuer le nombre de vues en deux 15 dimensions nécessaires en donnant une information en trois dimensions.

20 On notera également que le procédé de l'invention peut s'appliquer à plusieurs contours surfaciques en trois dimensions constituant un ou plusieurs objets. Par exemple, on peut ainsi reconstituer simultanément la surface externe et la surface corticale interne d'un os. On peut également reconstituer la forme de plusieurs os participant à un articulation et visibles simultanément sur les images radiologiques (par exemple, le tibia et le fémur si on s'intéresse au genou), ou encore la forme de plusieurs 25 fragments osseux d'un même os. Le modèle recherché doit, dans ce dernier cas, contenir les transformations rigides entre chaque contour surfacique en trois dimensions. Dans d'autre cas d'application à plusieurs objets, il faut bien entendu connaître les différents modèles statistiques et les éventuelle transformations rigides ou élastiques entre eux.

30 Bien entendu, la présente invention est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, le nombre de vues en deux dimensions devant être utilisé pour la reconstitution dépend de la précision souhaitée et de la complexité du modèle. Dans certains cas, une 35

seule vue en deux dimensions pourra suffire. De plus, bien que l'invention ait été décrite en relation avec une source de rayons X mobile, celle-ci pourra être remplacée par plusieurs sources fixes, pourvu de respecter la contrainte d'obtenir des images en 5 deux dimensions dans un même référentiel. En outre, la mise en œuvre de l'invention fait bien entendu appel à des techniques de traitement numérique d'images dont la réalisation pratique est à la portée de l'homme du métier à partir des indications fonctionnelles données ci-dessus et dans les publications citées en références. 10

REVENDICATIONS

1. Procédé de reconstitution d'une image en trois dimensions représentant les contours surfaciques d'au moins un objet (1), à partir d'au moins une vue en deux dimensions de cet objet prise aux rayons X, caractérisé en ce qu'il consiste à :

5 déterminer la position de la source (7) de prise de vues dans un référentiel de référence ;

sélectionner un modèle prédéfini constituant une forme moyenne (21) de l'objet ; et

10 de façon itérative jusqu'à ce que les contours du modèle soient tels que les écarts, entre des rayons de rétroposition des contours de l'image en deux dimensions depuis la source et la surface du modèle, soient minimaux :

sélectionner une orientation et une position du modèle dans le référentiel de référence, puis

15 sélectionner une déformation du modèle pour modifier ses contours en trois dimensions.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le modèle est obtenu à partir d'une population d'objets pour laquelle on recherche la correspondance statistique commune à 20 tous les objets pour déterminer une forme moyenne et les déformations principales par rapport à cette forme moyenne, de façon à disposer d'au moins un modèle statistique.

25 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les étapes de sélection itératives consistent à faire subir au modèle statistique, successivement, une transformation rigide modifiant sa position et/ou son orientation et une déformation non-rigide modifiant ses contours surfaciques.

30 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les contours de l'image en deux dimensions sont obtenus automatiquement en projetant le modèle dans le plan de l'image en deux dimensions, et en déformant les contours projetés de façon à les faire coïncider avec les points de fort gradient en niveaux de gris de l'image en deux dimensions.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la détermination automatique des contours de l'image en deux dimensions est effectuée de façon itérative, chaque itération étant intercalée entre deux itérations successives des étapes de 5 sélection.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer, dans le référentiel de référence, des coordonnées en trois dimensions de points de l'objet, de façon à disposer de points de référence supplémentaires pour les étapes de sélection itératives de position, orientation, et déformation.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il consiste à utiliser plusieurs images en deux dimensions pour lesquelles les positions respectives de la source de prise de vues sont toutes déterminées dans le référentiel de référence, et à effectuer les étapes de sélections itératives en tenant compte des rayons de rétroposition des contours de toutes les images en deux dimensions.

20. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que le nombre d'images utilisé est fonction de la précision souhaitée.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la surface du modèle est constituée d'éléments de triangle, lesdits écarts étant mesurés par rapport à des points de certaines arêtes constituant des générateurs du contour en trois dimensions.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il est appliqué à la reconstitution des contours surfaciques de plusieurs objets liés entre eux par des relations de transformation rigide et/ou élastique.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il est appliqué à la reconstitution d'images d'os.

12. Système de traitement d'images, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

1/3

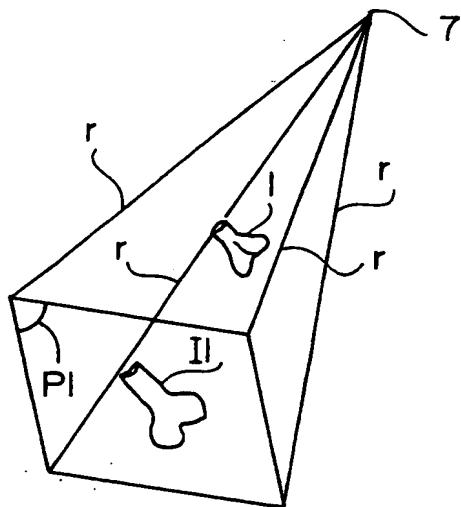
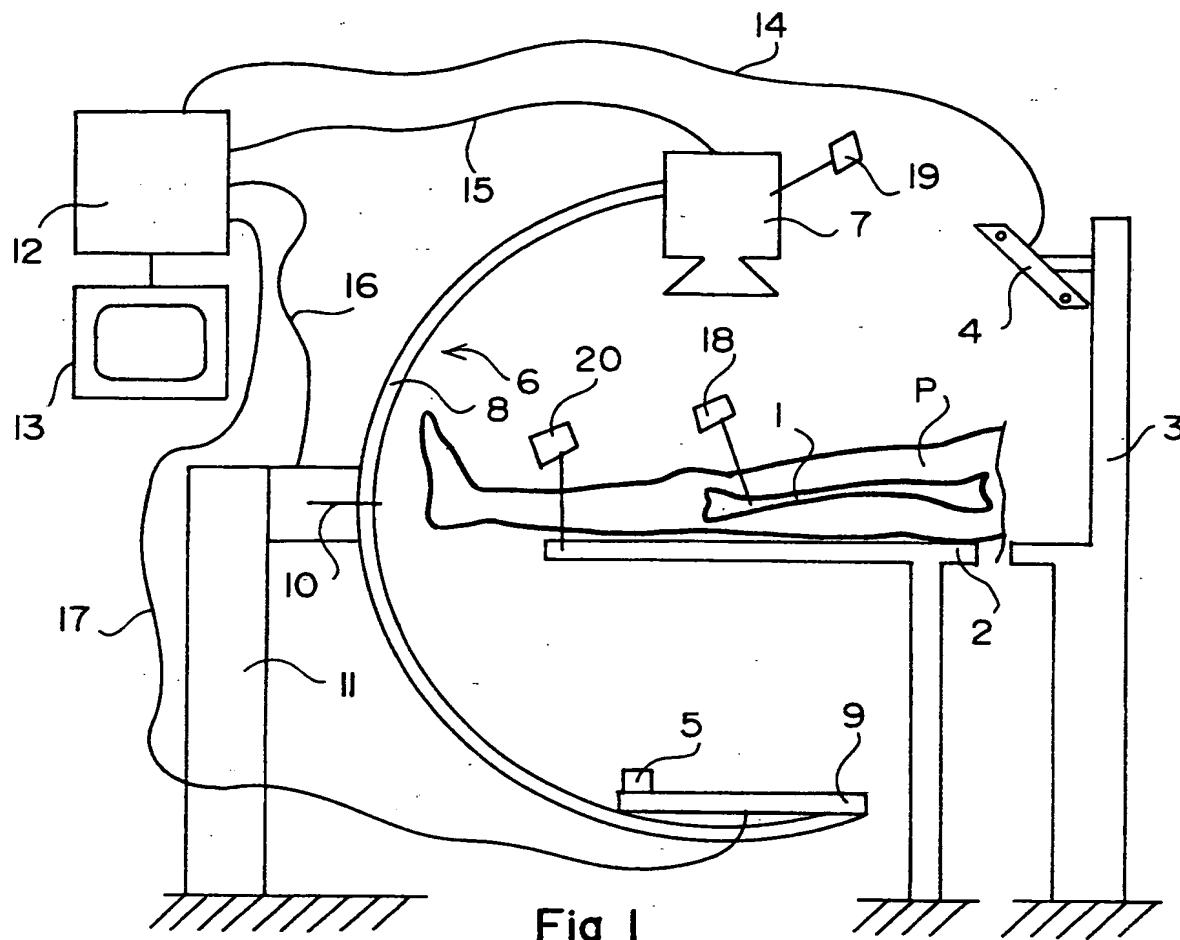


Fig 2A

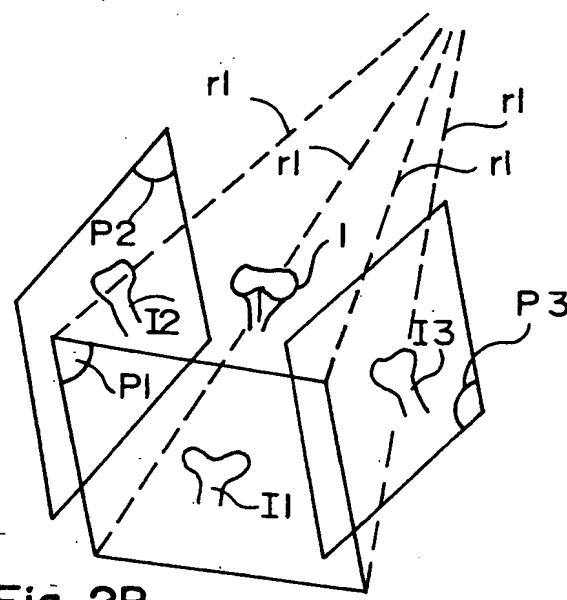


Fig 2B

THIS PAGE BLANK (USPTO)

2/3

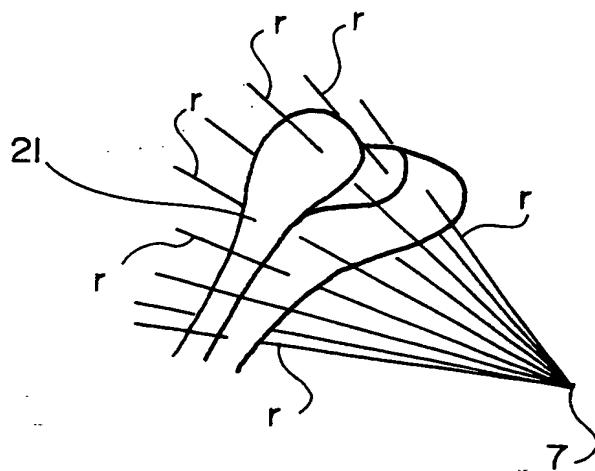


Fig 3A

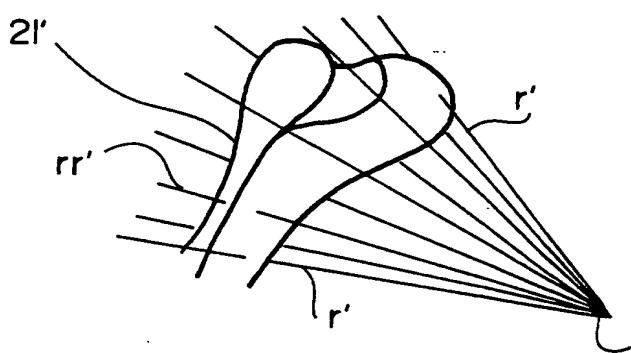


Fig 3B

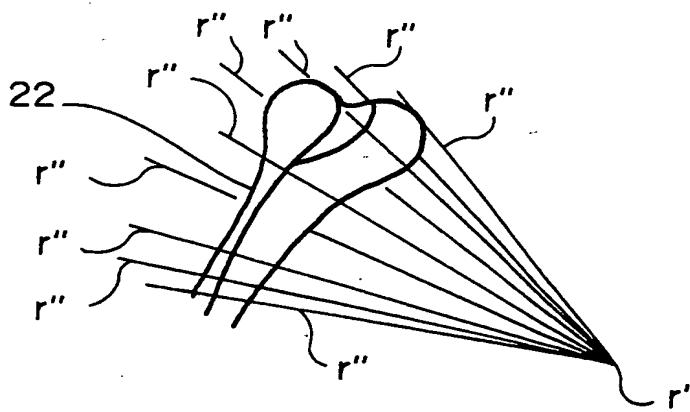


Fig 3C

THIS PAGE BLANK (USPTO)

3/3

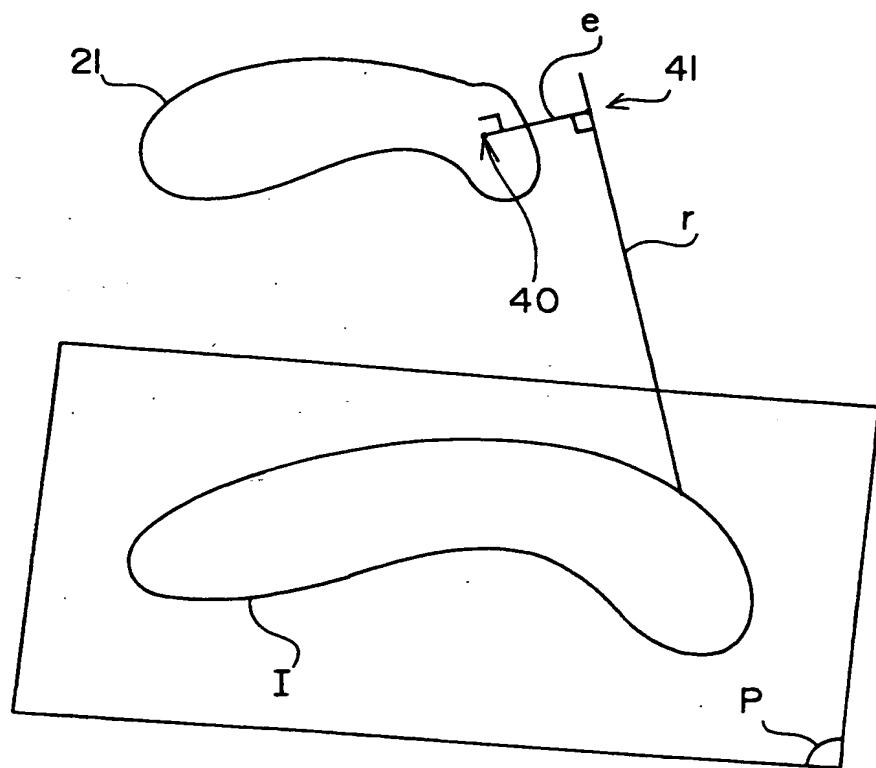
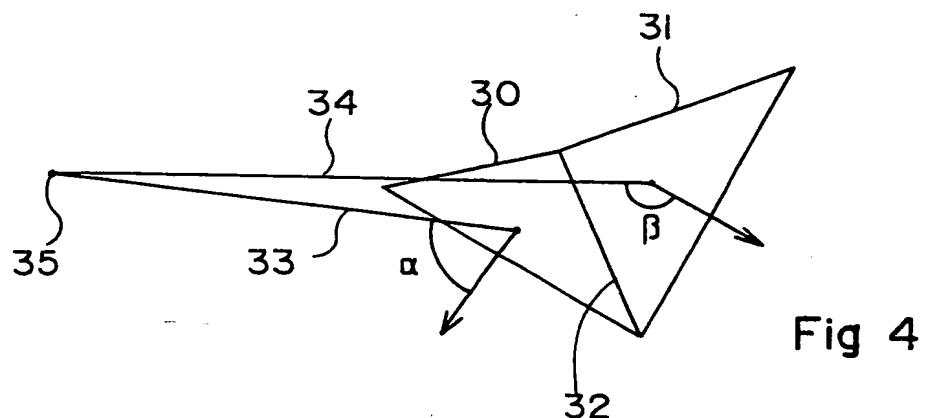


Fig 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/02546

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G06T11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>LAVALLEE S ET AL: "RECOVERING THE POSITION AND ORIENTATION OF FREE-FORM OBJECTS FROM IMAGE CONTOURS USING 3D DISTANCE MAPS" IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, US, IEEE INC. NEW YORK, vol. 17, no. 4, 1 April 1995 (1995-04-01), pages 378-390, XP000499568 ISSN: 0162-8828 page 378, left-hand column, paragraph 1 -page 379, right-hand column, paragraph 2 figures 2-4 page 385, left-hand column, line 4 - last line page 387, right-hand column, last paragraph</p> <p>---</p> <p>-/-</p>	1,4-12

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 October 2000

Date of mailing of the international search report

08/11/2000

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Diallo, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat'l Application No

PCT/FR 00/02546

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>FLEUTE, M.; LAVALLÉE, S.: "Building a complete surface model from sparse data using statistical shape models : application to computer assisted knee surgery" MEDICAL IMAGE COMPUTING AND COMPUTER-ASSISTED INTERVENTION - MICCAI'98 PROC., - 1 October 1998 (1998-10-01) XP000913649 Cambridge, MA, USA cited in the application abstract; figures 1-4 page 880, paragraph 2 -page 885, line 4</p>	1-3, 9, 11
A	<p>GUEZIEC, A., KAZANZIDES, P.; ET AL.: "Anatomy-based registration of CT-scan and intraoperative X-Ray images for guiding a surgical robot" IEEE TRANS. MED. IMAG., vol. 17, no. 5, 1 October 1998 (1998-10-01), pages 715-728, XP002140303 cited in the application abstract; figures 1,5 page 718, right-hand column, paragraph III -page 720, right-hand column, paragraph A</p>	4
A	<p>LAVALLÉE S ET AL: "MATCHING OF MEDICAL IMAGES FOR COMPUTED AND ROBOT ASSISTED SURGERY" PROCEEDINGS OF THE ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, US, NEW YORK, IEEE, vol. CONF. 13, 1991, pages 39-40, XP000347734</p>	